

(19)



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11)

**EP 0 775 756 A1**

(12)

**DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:  
**28.05.1997 Bulletin 1997/22**

(51) Int Cl.<sup>6</sup>: **C22C 38/32**

(21) Numéro de dépôt: **96402302.2**

(22) Date de dépôt: **30.10.1996**

(84) Etats contractants désignés:  
**AT BE CH DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC  
NL PT SE**

(30) Priorité: **27.11.1995 FR 9514036**

(71) Demandeur: **ASCOMETAL (Société anonyme)  
F-92800 Puteaux (FR)**

(72) Inventeurs:  
• **Pichard, Claude**  
**57860 Malancourt la Montagne (FR)**

• **Bellus, Jacques**  
**57160 SCY-Chazelles (FR)**  
• **Pierson, Gilles**  
**54920 Villers-la-Montagne (FR)**

(74) Mandataire: **Ventavoli, Roger**  
**TECHMETAL PROMOTION (Groupe USINOR**  
**SACILOR),**  
**Immeuble " La Pacific ",**  
**11/13 Cours Valmy - La Défense 7,**  
**TSA 10001**  
**92070 Paris La Défense Cédex (FR)**

(54) **Acier pour la fabrication d'une pièce forgée ayant une structure bainitique et procédé de fabrication d'une pièce**

(57) Acier pour la fabrication de pièces forgées ayant une structure bainitique et dont les caractéristiques mécaniques sont:  $R_{p0,2} \geq 800$  Mpa,  $R_m \geq 1000$  Mpa,  $K_{cu} \geq 50$  J/Cm<sup>2</sup>; la composition chimique comprenant, en poids:  $0,05\% \leq C \leq 0,12\%$ ,  $0,1\% \leq Si \leq 0,45\%$ ,  $1,01\% \leq Mn \leq 1,8\%$ ,  $0,15\% \leq Cr \leq 1,15\%$ ,  $0,06\% \leq Mo \leq 0,12\%$ ,  $Cu \leq 0,30\%$ ,  $Ni \leq 0,30\%$ ,  $0,01\% \leq Ti \leq 0,04\%$ ,  $0,005\% \leq Al \leq 0,04\%$ ,  $0,006\% \leq N \leq$

$0,013\%$ ,  $0,0005\% \leq B \leq 0,004\%$ ,  $P \leq 0,025\%$ ,  $0,02\% \leq S \leq 0,1\%$ ,  $0\% \leq Pb \leq 0,1\%$ ,  $0\% \leq Te \leq 0,07\%$ , éventuellement de  $0,0002\%$  à  $0,002\%$  de calcium, le reste étant du fer et des impuretés résultant de l'élaboration, la composition chimique satisfaisant en outre la relation:  $0,2\% \leq Ni + Mo + Cu \leq 0,7\%$ ; la teneur en bore non combiné n'étant pas inférieure à  $0,0005\%$  au dessus de  $950^\circ C$ . Procédé pour la fabrication d'une pièce forgée.

EP 0 775 756 A1

## Description

La présente invention est relative à un acier pour la fabrication de pièces forgées en acier ayant une structure bainitique et des caractéristiques mécaniques élevées.

De nombreuses pièces de mécanique, notamment des pièces pour l'automobile, sont fabriquées par forgeage à chaud de lopins d'acier obtenus par exemple par cisailage à froid de barres ou de billettes. Après forgeage, les pièces sont refroidies de façon contrôlée jusqu'à la température ambiante pour leur conférer les propriétés mécaniques souhaitées sans qu'un traitement thermique ultérieur soit nécessaire.

Pour fabriquer de telles pièces, il a été proposé, notamment dans le brevet EP 0191873, d'utiliser un acier dont la composition chimique comprend, en poids, de 0,04 % à 0,14 % de carbone, de 0,56 % à 0,99 % de manganèse, de 0,05 % à 0,5 % de silicium, de 1,01 % à 2 % de chrome, jusqu'à 0,5 % de titane, jusqu'à 0,1 % d'aluminium, jusqu'à 0,015 % de bore et jusqu'à 0,15 % de soufre, le reste étant du fer. Après forgeage, les pièces sont trempées à l'eau.

Cette technique présente plusieurs inconvénients, d'une part parce que la coulabilité de l'acier n'est pas très bonne, notamment en coulée continue, ce qui rend la fabrication des billettes difficile, d'autre part parce que la santé interne des demi produits est parfois mauvaise, en particulier lorsque l'acier est resulfuré pour améliorer son usinabilité. De plus, parfois, la résistance à la traction obtenue n'est pas suffisante. Par exemple, une teneur en carbone trop faible n'assure pas une trempabilité suffisante pour obtenir les caractéristiques mécaniques de traction souhaitées. De même, une teneur en manganèse trop faible conduit à des caractéristiques mécaniques de traction trop basses: un acier contenant 0,05% de carbone, 0,8% de manganèse, 1,1% de chrome, du bore, de l'aluminium et du titane ne permet pas de dépasser 690 MPa pour  $R_{p0,2}$  et 830 MPa pour  $R_m$ . Pour toutes ces raisons, la fiabilité des fabrications de pièces forgées réalisées avec cet acier n'est pas satisfaisante.

Le but de la présente invention est de remédier à ces inconvénients en proposant un acier et un procédé de fabrication de pièces forgées qui permette d'obtenir une bonne fiabilité de la fabrication des pièces forgées ayant des caractéristiques de traction et de résilience élevées.

A cet effet, l'invention a pour objet un acier pour la fabrication de pièces forgées ayant une structure bainitique et dont les caractéristiques mécaniques sont, à 20°C:

$$R_{p0,2} \geq 800 \text{ Mpa}$$

$$R_m \geq 1000 \text{ Mpa}$$

$$K_{cu} \geq 50 \text{ J/Cm}^2$$

la composition chimique de l'acier comprenant, en poids:

$$0,05 \% \leq C \leq 0,12 \%$$

$$0,1 \% \leq Si \leq 0,45 \%$$

$$1,01 \% \leq Mn \leq 1,8 \%$$

$$0,15 \% \leq Cr \leq 1,15 \%$$

$$0,06 \% \leq Mo \leq 0,12 \%$$

$$Cu \leq 0,30 \%$$

$$Ni \leq 0,30 \%$$

## EP 0 775 756 A1

$$0,01 \% \leq Ti \leq 0,04 \%$$

5

$$0,005 \% \leq Al \leq 0,04 \%$$

$$0,006 \% \leq N \leq 0,013 \%$$

10

$$0,0005 \% \leq B \leq 0,004 \%$$

$$P \leq 0,025 \%$$

15

$$0,02 \% \leq S \leq 0,1 \%$$

20

$$0 \% \leq Pb \leq 0,1 \%$$

$$0 \% \leq Te \leq 0,07 \%$$

25 éventuellement de 0,0002 % à 0,002 % de calcium, le reste étant du fer et des impuretés résultant de l'élaboration, cette composition chimique satisfaisant en outre la relation:

$$0,2 \% \leq Ni + Mo + Cu \leq 0,7 \%$$

30

la teneur en bore non combiné n'étant pas inférieure à 0,0005% au dessus de 950°C.  
De préférence, la composition chimique de l'acier est telle que:

35

$$0,05 \% \leq C \leq 0,08 \%$$

$$0,15 \% \leq Si \leq 0,35 \%$$

40

$$1,01 \% \leq Mn \leq 1,35 \%$$

$$0,8 \% \leq Cr \leq 1,15 \%$$

45

$$0,08 \% \leq Mo \leq 0,1 \%$$

L'invention concerne également un procédé de fabrication d'une pièce forgée selon le quel:

50

- on approvisionne un lopin en un acier conforme à l'invention,
- on chauffe le lopin jusqu'à une température de réchauffage T1 comprise entre 1000°C et 1320°C et on le forge, le forgeage se terminant à une température T2, la température de réchauffage T1 étant choisie pour que, à la température T2, la teneur en bore non combiné Bnc soit supérieure ou égale à 0,0005 %,
- 55 - on refroidit la pièce directement après forgeage jusqu'à la température ambiante de telle sorte que la vitesse moyenne de refroidissement de la pièce entre la température T2 et 100°C soit supérieure à 14 °C/s et de préférence inférieure à 250 °C/s.

## EP 0 775 756 A1

L'invention concerne, enfin, une pièce forgée constituée d'un acier conforme à l'invention, ayant une structure bainitique, et dont les caractéristiques mécaniques sont, à 20°C:

$$R_{p0,2} \geq 800 \text{ Mpa}$$

$$R_m \geq 1000 \text{ Mpa}$$

$$K_{cu} \geq 50 \text{ J/Cm}^2$$

De préférence, la pièce a un diamètre équivalent inférieur ou égal à 55 mm.

L'invention va maintenant être décrite de façon plus complète, mais non limitative.

Pour fabriquer des pièces forgées à structure bainitique ayant un diamètre équivalent de préférence inférieur à 55 mm, on utilise un acier dont la composition chimique comprend, en poids:

- de 0,05 % à 0,012 %, et de préférence de 0,05% à 0,08% de carbone pour obtenir une structure bainitique à bas carbone ayant les caractéristiques mécaniques de traction et de résilience requises;
- de 0,1 % à 0,45 %, et de préférence de 0,15% à 0,35% de silicium pour obtenir une désoxydation suffisante sans trop durcir la ferrite à l'état brut de laminage;
- de 1,01 % à 1,8 % de manganèse, et de préférence de 1,01 % à 1,35 % pour obtenir une bonne coulabilité et une bonne santé interne, notamment lorsque du soufre est ajouté pour améliorer l'usinabilité, et pour augmenter la trempabilité;
- de 0,15 % à 1,15 %, et de préférence de 0,8% à 1,15 %, de chrome pour augmenter la trempabilité sans trop durcir la ferrite à l'état brut de laminage afin de ne pas détériorer l'aptitude au cisailage à froid;
- de 0,06 % à 0,12 %, et de préférence de 0,08% à 0,11% de molybdène pour améliorer la trempabilité en synergie avec le bore, moins de 0,3 % de nickel et moins de 0,3% de cuivre; la somme des teneurs en nickel, cuivre et molybdène doit être supérieure à 0,2 % pour obtenir une trempabilité suffisante, et inférieure à 0,7% pour éviter la formation de martensite après forgeage;
- de 0,01 % à 0,04 % de titane, de 0,005 % à 0,04 % d'aluminium, de 0,006 % à 0,013 % d'azote et de 0,0005 % à 0,004 % de bore pour obtenir, en combinaison avec les autres éléments trempants, la trempabilité requise;
- moins de 0,025 % de phosphore pour ne pas détériorer la résilience;
- de 0,02 % à 0,1 % de soufre, éventuellement jusqu'à 0,07 % de tellure, éventuellement jusqu'à 0,1 % de plomb, et, éventuellement, entre 0,0002 % et 0,002% de calcium pour obtenir une bonne usinabilité; le reste étant du fer et des impuretés résultant de l'élaboration.

Afin d'obtenir le plein effet du bore sur la trempabilité, les teneurs en bore, titane, aluminium et azote sont ajustées de telle façon que la teneur en bore non combiné Bnc soit supérieure à 0,0005% dès que la température T est supérieure ou égale à 950°C.

La teneur en bore non combiné peut être calculée à partir de la température T, exprimée en °C, et des teneurs en titane, aluminium, bore et azote, exprimés en % en poids, par la formule suivante:

$$B_{nc} = 10,5 \times 10^{-13970/(T+273)} / A$$

avec:

$$A = - (0,29 \times Ti + 1,27 \times B + 0,52 \times Al - N) + \Delta$$

dans cette formule,  $\Delta$  est tel que:

$$\Delta^2 = 0,29 \times Ti + 1,27 \times B + 0,52 \times Al - N + 1,16 \times KTi + 5,08 \times KB + 2,08 \times KAl$$

avec:

## EP 0 775 756 A1

$$K_{Ti} = 4,73 \times 10^{-16210/(T+273)}$$

$$K_B = 5,24 \times 10^{-13910/(T+273)}$$

$$K_{Al} = 0,725 \times 10^{-6180/(T+273)}$$

L'acier liquide est élaboré par affinage en poche chauffante sous vide ou par affinage en poche chauffante suivi d'un traitement sous vide, puis coulé soit en coulée continue sous forme de billettes, soit en lingots. Lorsque l'acier est coulé en lingots, les lingots sont laminés à chaud sous forme de billettes ou de barres rondes qu'on laisse refroidir à l'air calme. Lorsque l'acier est coulé en continue, les blooms de coulée continue sont laminés à chaud sous forme de billette ou de barres rondes, également.

Les billettes ou les barres rondes sont découpées, par cisailage à froid, pour obtenir des lopins qui seront forgés à chaud.

Pour fabriquer une pièce, on chauffe un lopin jusqu'à une température T1 comprise entre 1000°C et 1320°C pour obtenir une structure austénitique homogène, puis on effectue le forgeage qui se termine à une température T2, et on refroidit la pièce jusqu'à la température ambiante à une vitesse de refroidissement moyenne entre T2 et 100°C, à une vitesse supérieure à 14 °C/s et, de préférence, inférieure à 250 °C. La température T1 doit être choisie de telle façon que, compte tenu des conditions de forgeage, la température de fin de forgeage T2 soit telle que, en fin de forgeage, la teneur en bore non combiné, Bnc, soit supérieure à 0,0005 %.

La teneur en bore non combiné peut être calculée à partir de la température T1 et des teneurs en titane, aluminium, bore et azote, par la formule indiquée plus haut.

On obtient ainsi, notamment pour des pièces dont le diamètre équivalent est inférieur à 55 mm, une structure bainitique dans toute la masse, dont les caractéristiques mécaniques sont, à 20°C:

$$R_{p0,2} \geq 800 \text{ MPa}$$

$$R_m \geq 1000 \text{ Mpa}$$

$$K_{cu} \geq 50 \text{ J/Cm}^2$$

Le diamètre équivalent d'une pièce, est le diamètre d'une barre ronde dont la vitesse de refroidissement à coeur est égal à la vitesse de refroidissement de la pièce, lors du refroidissement de celle-ci après forgeage.

Selon le diamètre équivalent de la pièce, le refroidissement après forgeage peut être fait à l'air soufflé, au brouillard, à l'huile, à l'eau ou par tout autre moyen qui permet de satisfaire les conditions de refroidissement imposées.

A titre d'exemple, on a fabriqué un arbre mécanique de forme généralement cylindrique dont le diamètre équivalent était de 30 mm. Pour fabriquer cet arbre, on a utilisé un acier élaboré en poche chauffante sous vide, dont la composition chimique, en poids, était:

$$C = 0,08 \%$$

$$Si = 0,40 \%$$

$$Mn = 1,30 \%$$

$$Cr = 0,92 \%$$

$$Mo = 0,1 \%$$

## EP 0 775 756 A1

Cu = 0,22 %

Ni = 0,095 %

Ti = 0,023 %

Al = 0,032 %

N = 0,0075 %

B = 0,0028 %

P = 0,015 %

S = 0,072 %

le reste étant du fer et des impuretés résultant de l'élaboration

Les lopins ont été chauffés avant forgeage à la température de 1280°C et forgés pour fabriquer des arbres dont le diamètre équivalent était de 30mm. La température de fin de forgeage était de 1050°C. A cette température, la teneur en bore non combiné de l'acier était de 0,0021%. Après forgeage, les arbres ont été refroidis à l'eau à 20°C avec agitation, ce qui a conduit à une vitesse moyenne de refroidissement à cœur de 36°C/s entre 1050°C et 100°C, et à l'obtention d'une structure bainitique dont les caractéristiques mécaniques à 20°C étaient:

$R_{p0,2} = 896 \text{ Mpa}$

$R_m = 1116 \text{ Mpa}$

$K_{cu} = 84 \text{ J/Cm}^2$

L'acier a été coulé sans difficultés et les demi produits ne présentaient pas de défauts de santé interne malgré une forte teneur en soufre ajoutée pour obtenir une bonne usinabilité.

### Revendications

1. Acier pour la fabrication de pièces forgées ayant une structure bainitique et dont les caractéristiques mécaniques sont, à 20°C:

$R_{p0,2} \geq 800 \text{ Mpa}$

$R_m \geq 1000 \text{ Mpa}$

$K_{cu} \geq 50 \text{ J/Cm}^2$

## EP 0 775 756 A1

caractérisé en ce que sa composition chimique comprend, en poids:

$$0,05 \% \leq C \leq 0,12 \%$$

5

$$0,1 \% \leq Si \leq 0,45 \%$$

10

$$1,01 \% \leq Mn \leq 1,8 \%$$

$$0,15 \% \leq Cr \leq 1,15 \%$$

15

$$0,06 \% \leq Mo \leq 0,12 \%$$

$$Cu \leq 0,30 \%$$

20

$$Ni \leq 0,30 \%$$

25

$$0,01 \% \leq Ti \leq 0,04 \%$$

$$0,005 \% \leq Al \leq 0,04 \%$$

30

$$0,006 \% \leq N \leq 0,013 \%$$

$$0,0005 \% \leq B \leq 0,004 \%$$

35

$$P \leq 0,025 \%$$

40

$$0,02 \% \leq S \leq 0,1 \%$$

$$0 \% \leq Pb \leq 0,1 \%$$

45

$$0 \% \leq Te \leq 0,07 \%$$

éventuellement de 0,0002 % à 0,002 % de calcium, le reste étant du fer et des impuretés résultant de l'élaboration, la composition chimique satisfaisant en outre la relation:

50

$$0,2 \% \leq Ni + Mo + Cu \leq 0,7 \%$$

la teneur en bore non combiné n'étant pas inférieure à 0,0005% au dessus de 950°C.

55

2. Acier selon la revendication 1 caractérisé en ce que la composition chimique est telle que:

## EP 0 775 756 A1

$$0,05 \% \leq C \leq 0,08 \%$$

5

$$0,15 \% \leq Si \leq 0,35 \%$$

$$1,01 \% \leq Mn \leq 1,35 \%$$

10

$$0,8 \% \leq Cr \leq 1,15 \%$$

$$0,08 \% \leq Mo \leq 0,11 \%$$

15

3. Procédé de fabrication d'une pièce forgée caractérisé en ce que:

20

- on approvisionne un lopin en un acier conforme à la revendication 1 ou à la revendication 2,
- on chauffe le lopin jusqu'à une température de réchauffage T1 comprise entre 1000°C et 1320°C et on le forge, le forgeage se terminant à une température T2, la température de réchauffage T1 étant choisie pour que, à la température T2, la teneur en bore non combiné Bnc soit supérieure ou égale à 0,0005 %,
- on refroidit la pièce directement après forgeage jusqu'à la température ambiante de telle sorte que, en tous points de la pièce, la vitesse moyenne de refroidissement entre la température T2 et 100°C soit supérieure à 14 °C/s et de préférence inférieure à 250 °C/s.

25

4. Pièce forgée caractérisée en ce qu'elle est constituée en un acier selon la revendication 1 ou la revendication 2, en ce qu'elle a une structure bainitique, et en ce que ses caractéristiques mécaniques sont, à 20°C:

30

$$R_{p0,2} \geq 800 \text{ Mpa}$$

$$R_m \geq 1000 \text{ Mpa}$$

35

$$K_{cu} \geq 50 \text{ J/Cm}^2$$

5. Pièce selon la revendication 4 caractérisée en ce que son diamètre équivalent est inférieur ou égal à 55 mm.

40

45

50

55





Office européen  
des brevets

## RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numero de la demande  
EP 96 40 2302

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int.Cl.6)
D,A	EP 0 191 873 A (OVAKO OY AB) * revendications 1-10 *	1,2	C22C38/32
A	GB 2 186 594 A (HUNTING OILFIELD SERVICES LTD) * le document en entier *	1,2	
A	AT 193 914 A (OESTERREICHISCH-ALPINE MONTANGESELLSCHAFT) * le document en entier *	1,2	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.6)
			C22C
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche		Date d'achèvement de la recherche	Examinateur
LA HAYE		4 Mars 1997	Lippens, M
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande I : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul V : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			

EPO FORM 1501 (03.81) (P4/C02)

THIS PAGE BLANK (USPTO)